



Keiichi SATO
April 15, 2004
BSKB
(703) 205-8000
0943-0143 PUS1
1 of 1

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 4 月 1 8 日
Date of Application:

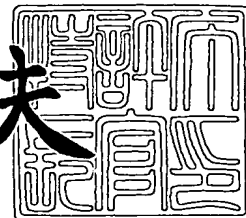
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 1 4 7 8 6
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 1 1 4 7 8 6]

出 願 人 本 田 技 研 工 業 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 2 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 H103062401

【提出日】 平成15年 4月18日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01N 19/04
G01B 11/16

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研
究所内

【氏名】 佐藤 恵一

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県牛久市田宮町235番地の8

【氏名】 影山 和郎

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100067356

【弁理士】

【氏名又は名称】 下田 容一郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100094020

【弁理士】

【氏名又は名称】 田宮 寛祉

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 004466

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9723773

【包括委任状番号】 0011844

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 接着部の剥離検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、前記光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの前記光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、前記光ファイバセンサを前記接着剤の内部に埋め込むときに、前記光ファイバセンサに圧縮ひずみを加えた状態で埋め込むことを特徴とする接着部の剥離検査方法。

【請求項 2】 前記圧縮ひずみは、複数の部材を接合する前記接着剤として熱硬化性接着剤を用いて室温より高温で硬化接着し、室温に戻すことにより前記光ファイバセンサに加えられることを特徴とする請求項 1 記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項 3】 複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、前記光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの前記光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、前記部材側から所定の負荷を付与したときの前記光学特性の変化から前記接着部の剥離を検査することを特徴とする接着部の剥離検査方法。

【請求項 4】 前記所定の負荷は、前記接着剤によって接合された前記複数の部材からなる接合部材を弾性変形させる外力であることを特徴とする請求項 3 記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項 5】 前記光ファイバセンサは光ファイバグレーティングセンサであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項 6】 前記光源は広帯域光源であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項 7】 前記光学特性は反射光特性であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項 8】 前記光学特性は透過光特性であることを特徴とする請求項 1

～6のいずれか1項に記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項9】 前記接着剤は、常温硬化接着剤であることを特徴とする請求項3～8のいずれか1項に記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項10】 前記反射光特性は、反射スペクトル特性であることを特徴とする請求項7または9記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項11】 前記反射光特性は、所定の波長の反射光強度特性であることを特徴とする請求項7または9記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項12】 前記透過光特性は、透過スペクトル特性であることを特徴とする請求項8または9記載の接着部の剥離検査方法。

【請求項13】 前記透過光特性は、所定の波長の透過光強度特性であることを特徴とする請求項8または9記載の接着部の剥離検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、接着部の剥離検査方法に関し、特に、光ファイバセンサを用いた接着部の剥離検査方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、接着部の健全性の検査では、目視や超音波探傷で接着部の微細な亀裂の有無を調べている。しかし、熟練の検査者が目視で検査を行っても、見落としのない検査は困難であり、検査工数も多くなる。また、各種のセンサを用いて接着部の健全性を評価する試みもなされているが、判定の難しさや検査精度の問題から実用に適さない。このような問題を解決するため、光ファイバセンサのセンサ部を、接合部材の接着部に埋め込んだり、接合部（接着部）近傍に接着して接合部材の接合状態を計測する技術が考えられている。これは、光ファイバセンサのセンサ部に生じるひずみによる光学的特性の変化を利用する技術である。光ファイバセンサを用いた計測時には、複数の部材を接合するときの接着剤内部に光ファイバセンサのセンサ部を取り付け固定し、光ファイバセンサの光入射側から広帯域光源からの光を入射して、センサ部からの反射光や透過光の変化を観測して

いる。この観測によって、接合部材の接合状態が分かる。

【0003】

このような測定を行うための方法は、例えば、下記の特許文献1に開示されている。その方法では、接合継手の近くに変換手段、例えば光ファイバセンサを配置し、接合された材料と接着剤との間の負荷変移特性を表すパラメータを、加えた負荷に応じて記録できるように接合継手に対して変換手段を配置する。そして、接合継手の組立後に、基準負荷を加えた下での接合された材料との間の負荷変移特性を表す基準パラメータを記録し、続けて、点検の負荷を加えた下での接合された材料と接着剤との間の負荷変移特性を表すパラメータを記録する。それによって、基準パラメータと続けて得られたパラメータとを比較して接合の完全性を測定する。

【0004】

また、下記特許文献2の剥離検査方法では、まず、接着された複数の部材の各々に光ファイバセンサを固定する。そして、光ファイバセンサの各々の一端から光パルスを入力し、入力された光パルスに対して各光ファイバセンサで生じる散乱光の光学的特性の変化から各光ファイバセンサに生じるひずみを測定する。この測定した各光ファイバセンサのひずみの差に基づいて各部材の接触面における剥離の発生を検出するというものである。

【0005】

さらに、光ファイバセンサによる精密計測技術の解説が非特許文献1に記載されている。

【0006】

【特許文献1】

特開平9-101255号公報

【特許文献2】

特開2001-21384公報

【非特許文献1】

石川真二著、応用物理、第69巻、第6号（2000）、648頁－654頁

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

上記特許文献1の方法の場合、接合の完全性を調べるためには点検のための負荷を加える必要があった。また、上記特許文献2の方法の場合、剥離による歪みが大きくないときは検出が困難である。光ファイバセンサのセンサ部は周囲の歪みを波長変化として検出できるが、特許文献1のように光ファイバセンサのセンサ部を、複数の部材を接着するとき、室温で硬化する接着剤を用いて接着し、その接着剤内に埋め込んだとき、剥離が起きても歪みの変化は大きくないので、負荷を加えない場合、波長変化も大きくない。例えば、光ファイバセンサが光ファイバグレーティングセンサの場合の検出データを図19に示す。図19(a)は、接合部材の剥離が生じていないときの光ファイバセンサから検出される反射スペクトルである。横軸は光の波長であり、縦軸は検出光の光強度である。このとき、波長 λ_1 にピークP10を持つ反射スペクトルが観測される。これは、グレーティングの間隔の2倍が波長 λ_1 の整数倍になっており、グレーティングからの反射光が波長 λ_1 に対するとき強め合うために波長 λ_1 にピークを持つ反射スペクトルとなって観測される。

【0008】

一方、図19(b)は、接合部材の剥離が生じているときの光ファイバセンサから検出される反射スペクトルである。波長 λ_1 の近くの波長 λ_2 の位置に小さなピークP11が見られるが、すぐに判別できるほどのピーク間のスプリットは見られない。これは、剥離が生じてても、光ファイバのグレーティングに生じるひずみが小さく、グレーティングの間隔が大きく変化しないためである。このように、剥離が起きても歪みの変化は大きくないので波長変化も大きくない。また、光ファイバは、温度が変化すると熱膨張の影響でグレーティングの間隔が変化するため、温度変化で反射スペクトルのピークの位置の変化が生じてしまい、剥離が起こらなくても温度が変化することによりピークが変化し、剥離かどうかの区別もしにくくなり、温度の影響も無視できなくなってしまう。

【0009】

本発明の目的は、上記問題を解決するため、接合部材が剥離したときに光ファ

イバセンサによって検出される光学的特性に大きな変化が見られるようにすることで検査精度を飛躍的に向上することができる接着部の剥離検査方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段および作用】

本発明に係る接着部の剥離検査方法は、上記の目的を達成するために、次のように構成される。

【0011】

第1の接着部の剥離検査方法（請求項1に対応）は、複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、光ファイバセンサを接着剤の内部に埋め込むときに、光ファイバセンサに圧縮ひずみを加えた状態で埋め込むことで特徴づけられる。

【0012】

第1の接着部の剥離検査方法によれば、複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、光ファイバセンサを接着剤の内部に埋め込むときに、光ファイバセンサに圧縮ひずみを加えた状態で埋め込むため、接合部材の剥離が起こった場合、光ファイバセンサは圧縮ひずみがなくなる部分が生じ、それにより、センサ部が圧縮ひずみがあるときよりも長くなり、光学特性に大きな変化が生じる。その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。したがって、剥離か否かを正確に判定可能なことから、実際剥離していないにもかかわらず剥離と判定して無駄な構造物の分解作業などのケースは皆無となり、すなわち、構造物の整備コストを削減し、逆に剥離しているにもかかわらず剥離していないと判定してしまい構造物の崩壊などの最悪のケースを招くことなく構造物の安全性の向上が期待できる。

【0013】

第2の接着部の剥離検査方法（請求項2に対応）は、上記の構成において、好

ましくは圧縮ひずみは、複数の部材を接合する接着剤として熱硬化性接着剤を用いて室温より高温で硬化接着し、室温に戻すことにより光ファイバセンサに加えられることで特徴づけられる。

【0014】

第2の接着部の剥離検査方法によれば、圧縮ひずみは、複数の部材を接合する接着剤として熱硬化性接着剤を用いて室温より高温で硬化接着し、室温に戻すことにより、接着剤と光ファイバセンサの熱膨張差により生じる熱応力によって光ファイバセンサに加えられるため、センサ部に大きな圧縮ひずみを与えることができるので、接合部材が剥離した場合に、圧縮ひずみが少なくなるか、または、なくなる部分が生じ、そのとき、センサ部のひずみに変化が生じ、それにより、光学的特性に大きな変化が生じる。それにより、精度良く剥離を検出することができる。

【0015】

第3の接着部の剥離検査方法（請求項3に対応）は、複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、部材側から所定の負荷を付与したときの光学特性の変化から接着部の剥離を検査することで特徴づけられる。

【0016】

第3の接着部の剥離検査方法によれば、複数の部材を接合する接着剤の内部に光ファイバセンサを埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、部材側から所定の負荷を付与したときの光学特性の変化から接着部の剥離を検査するため、部材側から付与する所定の負荷により、接合部材が剥離しているとき、センサ部のひずみが増加し、光学的特性も大きく変化する。その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。したがって、剥離か否かを正確に判定可能なことから、実際剥離していないにもかかわらず剥離と判定して無駄な構造物の分解作業などのケースは皆無となり、すなわち、構造物の整備コストを削減し、逆に剥離しているにもかかわらず剥

離していないと判定してしまい構造物の崩壊などの最悪のケースを招くことはなく構造物の安全性の向上が期待できる。

【0017】

第4の接着部の剥離検査方法（請求項4に対応）は、上記の構成において、好ましくは所定の負荷は、接着剤によって接合された複数の部材からなる接合部材を弾性変形させる外力であることで特徴づけられる。

【0018】

第4の接着部の剥離検査方法によれば、所定の負荷は、接着剤によって接合された複数の部材からなる接合部材を弾性変形させる外力であるため、接合部材が剥離しているとき、接合部材の剛性が小さくなり外力を加えたときに接合部材が剥離していないときに比べて大きく弾性変形するので、センサ部のひずみが大きく変化し、光学的特性も大きく変化する。その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。

【0019】

第5の接着部の剥離検査方法（請求項5に対応）は、上記の構成において、好ましくは光ファイバセンサは光ファイバグレーティングセンサであることで特徴づけられる。

【0020】

第5の接着部の剥離検査方法によれば、光ファイバセンサは光ファイバグレーティングセンサであるため、センサ部のひずみとしてグレーティングの間隔の変化が生じるので、グレーティングの光学特性に変化が生じ、その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。

【0021】

第6の接着部の剥離検査方法（請求項6に対応）は、上記の構成において、好ましくは光源は広帯域光源であることで特徴づけられる。

【0022】

第6の接着部の剥離検査方法によれば、光源は広帯域光源であるため、広範囲の波長範囲の光学的特性を観測することができるので、光学的特性の変化を観測を容易にし、精度良く剥離を検出することができる。

【0023】

第7の接着部の剥離検査方法（請求項7に対応）は、上記の構成において、好ましくは光学特性は反射光特性であることで特徴づけられる。

【0024】

第7の接着部の剥離検査方法によれば、光学特性は反射光特性であるため、その反射光特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。

【0025】

第8の接着部の剥離検査方法（請求項8に対応）は、上記の構成において、好ましくは光学特性は透過光特性であることで特徴づけられる。

【0026】

第8の接着部の剥離検査方法によれば、光学特性は透過光特性であるため、その透過光特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。

【0027】

第9の接着部の剥離検査方法（請求項9に対応）は、上記の構成において、好ましくは接着剤は、常温硬化接着剤であることで特徴づけられる。

【0028】

第9の接着部の剥離検査方法によれば、接着剤は、常温硬化接着剤であるため、容易に複数の部材を接着し、接着剤内部に光ファイバセンサを埋め込むことができる。

【0029】

第10の接着部の剥離検査方法（請求項10に対応）は、上記の構成において、好ましくは反射光特性は、反射スペクトル特性であることで特徴づけられる。

【0030】

第10の接着部の剥離検査方法によれば、反射光特性は、反射スペクトル特性であるため、反射スペクトルの変化を観測することにより、精度良く剥離を検査することができる。

【0031】

第11の接着部の剥離検査方法（請求項11に対応）は、上記の構成において、好ましくは反射光特性は、所定の波長の反射光強度特性であることで特徴づけられる。

【0032】

第11の接着部の剥離検査方法によれば、反射光特性は、所定の波長の反射光強度特性であるため、所定の波長に感度を有する光検出器を用いればよいので、簡単な光学系で精度良く剥離を検査することができる。

【0033】

第12の接着部の剥離検査方法（請求項12に対応）は、上記の構成において、好ましくは透過光特性は、透過スペクトル特性であることで特徴づけられる。

【0034】

第12の接着部の剥離検査方法によれば、透過光特性は、透過スペクトル特性であるため、透過スペクトルの変化を観測することにより、精度良く剥離を検査することができる。

【0035】

第13の接着部の剥離検査方法（請求項13に対応）は、上記の構成において、好ましくは透過光特性は、所定の波長の透過光強度特性であることで特徴づけられる。

【0036】

第13の接着部の剥離検査方法によれば、透過光特性は、所定の波長の透過光強度特性であるため、所定の波長に感度を有する光検出器を用いればよいので、簡単な光学系で精度良く剥離を検査することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の好適な実施形態を添付図面に基づいて説明する。

【0038】

実施形態で説明される構成、形状、大きさおよび配置関係については本発明が理解・実施できる程度に概略的に示したものにすぎず、また、数値および各構成の組成（材質）については例示にすぎない。従って本発明は、以下に説明される

実施形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に示される技術的思想の範囲を逸脱しない限り様々な形態に変更することができる。

【 0 0 3 9 】

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る接着部の剥離検査方法で用いる測定系の基本構成図である。測定系 1 0 は、光源 1 1 と光ファイバセンサ 1 2 と光検出部 1 3 とから構成される。

【 0 0 4 0 】

光源 1 1 は、広帯域の光を光ファイバセンサ 1 2 の入射側の端面に照射する装置であり、光ファイバセンサ 1 2 で検出できる波長の光を含んだ領域の波長の光を発光する光源である。光源 1 1 は、例えば、スーパーluminescenceダイオード（S L D）、ハロゲンランプあるいはタングステンランプなどの広帯域の連続スペクトルを持つ光源である。

【 0 0 4 1 】

光ファイバセンサ 1 2 は、センサ部 1 4 とカップラ 1 2 a を有し、光源 1 1 からの光をセンサ部 1 4 に導入し、そのセンサ部 1 4 からの反射光をカップラ 1 2 a を介して検出する。光ファイバセンサは、例えば、光ファイバグレーティングセンサを用いる。以下では、光ファイバグレーティングセンサを用いた例で説明する。光ファイバの先端 1 5 は光源 1 1 に接続され、センサ部 1 4 は部材 1 6、1 7 を接合するときの接着剤 1 8 の内部に埋め込む。また、先端 1 9 は光検出部 1 3 に接続される。

【 0 0 4 2 】

図 2 は、接着剤 1 8 にセンサ部 1 4 を埋め込んである部材 1 6 と部材 1 7 の接着部 2 0 の斜視図であり、図 3 は、接着部 2 0 の拡大断面図である。接着部 2 0 のうち、センサ部を埋め込む部分は、亀裂剥離が生じやすい接合部（接着部）2 0 の接着剤 1 8 の外側と露出した表面付近である。例えば、センサ部 1 4 の光入射側のグレーティングの端から接合部の接着剤 1 8 の外側と露出した表面までの距離を 0 ～ 5 mm となるようにセンサ部は埋め込まれる。このような測定系 1 0 は、部材 1 6、1 7 と接着部 2 0 によって形成された接合部材の剥離が生じたかどうかの測定を行うときに用いるものであり、実際には、航空機などを製造する

際に用いられる部材の接合部（接着部）の接着剤内部に埋め込まれる。図 2 と図 3 は、実験に用いた系であり、接着部 20 の例であり、部材 16 と部材 17 に接着剤 18 を塗布し、その接着剤 18 内部に、光ファイバーセンサ 12 のセンサ部 14 が埋め込まれている。

【0043】

また、光ファイバセンサを埋め込むときには、部材 16、17 を接合する接着剤 18 として熱硬化性接着剤を用いて室温より高温で硬化接着し、室温に戻す。そのとき、接着剤と光ファイバセンサの熱膨張差により、センサ部 14 に圧縮ひずみが生じるようにしている。

【0044】

図 1 に示す光検出部 13 は、センサ部 14 からの反射光の反射スペクトルを得るための光スペクトルアナライザが用いられる。

【0045】

次に、本発明の剥離検出方法の測定系 10 による測定の原理を図 4 を用いて説明する。

【0046】

図 4 は、ファイバグレーティングの模式図である。光ファイバセンサとして用いられるファイバグレーティング 14 はファイバコア部 21 に光の波長オーダーの周期を書き込んだもので、コア 21 を伝搬する前進と後退モード間の結合を用いることで、所定の波長の光を反射させる機能をもつ。結合する波長 λ_B は、伝搬モードの実効屈折率 n_{EFF} と屈折率周期 Λ を用いて (1) 式で示される。

【0047】

【数 1】

$$\lambda_B = 2 n_{core} \Lambda \quad (1)$$

【0048】

反射率 R は屈折率変化量 Δn 、グレーティング長 L 、伝搬光のコア部への閉じ込め率 η_c を用いて、(2) 式で求められる。

【0049】

【数 2】

$$R_B = \tanh^2 \left(\pi L \cdot \Delta n \cdot \frac{n_c}{\lambda_B} \right) \quad (2)$$

【0050】

例えば、1.55 μm 帯波長多重伝送の波長分離に用いられるファイバグレーティングの場合、周期 Λ 約 0.5 μm 、長さ $L = 10\text{mm}$ 、と約 20,000 層の屈折率周期が書き込まれたものとなり、非常に急峻な反射特性が図 5 に示すように形成される。

【0051】

このようなグレーティングに圧縮ひずみがか加わると屈折率周期 Λ が図 6 で示すように Λ_c となり短くなり、(1) 式にしたがって結合する λ_B は短くなり、すなわち反射光の波長は短くなる。一方、圧縮ひずみが少なくなると、屈折率周期 Λ は、ひずみのない状態の周期に近い部分も生じ、その部分からの反射光の波長は、長くなり、図 7 に示すように、長波長側にも反射ピーク P2 が生じる。剥離が生じると、剥離した部分では、圧縮ひずみが少なくなるか、なくなり、図 7 で示すような長波長側にも反射ピークが生じた反射スペクトルになる。

【0052】

以上の原理に基づいて、測定系 10 により反射スペクトルを観測することにより接着剤内部または外部、外側面の剥離を検出することができる。

【0053】

次に、図 8, 9 を用いて図 1 で示した測定系 10 を用いた第 1 実施形態の実施例について説明する。

【0054】

【実施例 1】

図 8 は、250℃熱硬化接着剤でセンサ部 14 を埋め込んだときの剥離する前の、反射スペクトルである。横軸は、波長であり、縦軸は、光強度である。このときには、接着剤と光ファイバセンサの熱膨張差による熱応力によってセンサ部に圧縮ひずみが生じ、1554 nm 付近にピークが見られる。図 10 のように拡大レンズ 22 で観察しながら部材 16, 17 に負荷を加えていく。そして、剥離

が生じるまで、スペクトルはほとんど変化せず、剥離が生じたとき、負荷をゼロにする。そのときのスペクトルを図9に示す。スペクトルは剥離が生じると大きく変化し、1555nmにもピークP3が生じる。これは、圧縮ひずみがなくなった部分がセンサ部14に生じたことに起因するものと考えられる。

【0055】

以上の測定により、剥離が生じたときには、長波長側にもピークが生じるようになるので、そのピークを観測することにより剥離を検出することができる。

【0056】

上記の測定系を航空機胴体部の接着部の状態をモニタするために用いることにより、反射スペクトルを測定することによって、接着部が剥離していない場合は、反射スペクトルのピークは短波長側に1つあり、接着部が剥離した場合には、反射スペクトルのピークが短波長側に加えて長波長側にももう1つ現れるため、そのピークが生じたか否かによって、接着部が剥離しているか否かを正確に判断できる。

【0057】

なお、上記の測定系において、光検出器13として光スペクトルアナライザを用いて反射スペクトルを測定するようにしたが、ある特定の波長に感度を有するフォトダイオードなどで、その波長の光強度を検出するようにし、例えば、剥離したときに生じる1555nmの波長に感度を有するフォトダイオードを用いてその検出値をモニタすることにより、その強度が増加することによって剥離を検知するようにしても良い。

【0058】

図11は、本発明の第2の実施形態に係る接着部の剥離検査方法で用いる測定系の基本構成図である。測定系30は、光源11と光ファイバセンサ31と光検出部13とから構成される。

【0059】

光源11と光検出器13は、第1の実施形態と同様であるので同じ符号を付し説明も省略する。

【0060】

光ファイバセンサ 31 は、センサ部 32 を有し、光源 11 からの光をセンサ部 32 に導入し、そのセンサ部からの透過光を検出する。光ファイバーの一方の先端は光源 11 に接続され、センサ部 32 は部材 16, 17 を接合するときの接着剤 18 の内部に埋め込む。

【0061】

第 1 の実施形態と同様、光ファイバグレーティングセンサを複数の部材を接合する接着材として熱硬化性接着剤を用いて室温より高温で硬化接着し、室温に戻す。そのとき、接着剤と光ファイバセンサの熱膨張差により、センサ部に圧縮ひずみが生じるようにしている。

【0062】

図 11 に示す光検出部 12 は、センサ部 32 からの透過光の透過スペクトルを得るための光スペクトルアナライザが用いられる。

【0063】

次に、本発明の剥離検出方法の測定系 30 による測定の原理を説明する。

【0064】

ファイバグレーティング 32 はファイバ 31 の中間に形成された以外は第 1 の実施形態と同様であり、ファイバコア部に光の波長オーダーの周期を書き込んだもので、コアを伝搬する前進と後退モード間の結合を用いることで、所定の波長の光を反射させる機能をもつ。結合する波長 λ_B は、伝搬モードの実効屈折率 n_{EFF} と屈折率周期 Λ を用いて (1) 式で示される。

【0065】

反射率 R は屈折率変化量 Δn 、グレーティング長 L 、伝搬光のコア部への閉じ込め率 η_c を用いて、(2) 式で求められる。

【0066】

例えば、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯波長多重伝送の波長分離に用いられる光ファイバグレーティングセンサの場合、周期 $\Lambda = \text{約 } 0.5\ \mu\text{m}$ 、長さ $L = 10\ \text{mm}$ 、と約 20,000 層の屈折率周期が書き込まれたものとなり、非常に急峻な透過特性が図 12 に示すように形成される。

【0067】

このようなグレーティングに圧縮ひずみが加わると屈折率周期 Λ が図 6 で示すように Λ_c となり短くなり、(1) 式にしたがって反射光の波長は短くなる。一方、圧縮ひずみが少なくなると、屈折率周期 Λ は、圧縮ひずみがない場合に近い部分も生じ、その部分からの反射光の波長は、長くなり、図 13 に示すように、長波長側にも透過ディップ D2 が生じる。剥離が生じると、剥離した部分では、圧縮ひずみが少なくなるか、なくなり、長波長側にも透過ディップが生じる。

【0068】

以上の原理に基づいて、上記の測定系により透過スペクトルを観測することにより接着部の剥離を検出することができる。

【0069】

上記の測定系を航空機胴体部の接着部の状態をモニタするために用いることにより、透過スペクトルを測定することによって、接着部が剥離していない場合は、透過スペクトルのディップは短波長側に 1 つあり、接着部が剥離した場合には、透過スペクトルのディップが短波長側に加えて長波長側にももう 1 つ現れるため、そのディップが生じたか否かによって、接着部が剥離しているか否かを正確に判断できる。

【0070】

なお、上記の測定系において、光検出器として光スペクトルアナライザを用いて透過スペクトルを測定するようにしたが、ある特定の波長に感度を有するフォトダイオードなどで、その波長の光強度を検出するようにし、例えば、剥離したときに生じる 1555 nm の波長に感度を有するフォトダイオードを用いてその検出値をモニタすることにより、その強度が減少することによって剥離を検知するようにしても良い。

【0071】

次に、本発明の第 3 の実施形態を説明する。測定系は、第 1 の実施形態で説明した構成と同様であるが、この実施形態においては、部材側から所定の負荷を付与したときの光学特性の変化から接着部の剥離を検査する。そして、所定の負荷として、接着剤によって接合された複数の部材からなる接合部材を弾性変形させる外力を加える。図 14 (a) で示すように部材 16, 17 に引っ張りの負荷と

して外力 F をかけたり、また、図 14 (b) で示すような部材 16', 17' が接合された接合部材では、接合部材の端部 A, B に引っ張りの負荷として外力 F_2 を加える。さらに、図 14 (c) で示すような部材 16'', 17'' が接合された接合部材では、接合部材の 3 点 D1, D2, D3 に外力 F_3, F_4, F_5 を加え曲げの負荷をかける。測定系の構成の説明は、省略する。

【0072】

次に、本発明の第 3 の実施形態に係る剥離検出方法の測定の原理を説明する。測定系は図 1 で示したものと同様である。

【0073】

ファイバグレーティングはファイバコア部に光の波長オーダーの周期を書き込んだもので、コアを伝搬する前進と後退モード間の結合を用いることで、所定の波長の光を反射させる機能をもつ。結合する波長 λ_B は、伝搬モードの実効屈折率 n_{EFF} と屈折率周期 Λ を用いて (1) 式で示される。

【0074】

反射率 R は屈折率変化量 Δn 、グレーティング長 L 、伝搬光のコア部への閉じ込め率 η_c を用いて、(2) 式で求められる。

【0075】

このようなグレーティングに圧縮ひずみが加わると屈折率周期 Λ が図 6 で示すように Λ_c となり短くなり、反射波長は短くなる。一方、圧縮ひずみが少なくなると、屈折率周期 Λ は、ひずみがない場合に近い部分も生じ、その部分からの反射波長は、長くなり、図 7 に示すように、長波長側にも反射ピーク P2 が生じる。剥離が生じると、剥離した部分では、圧縮ひずみが少なくなるか、またはなくなる。そして、負荷を部材 16, 17 に加えることにより、図 14 に示すように、光ファイバセンサのセンサ部に引っ張りひずみが生じるために、図 6 で示したグレーティング間隔 λ よりさらに長くなる。このとき、接着部の剛性は接着が剥離して板厚が変化することによって大きく低下する。図 14 (d) には、接合部材の接着が剥離した部分と、接着が剥離していない部分での曲げ剛さを示す。部材 16'' と部材 17'' の厚さを h 、幅を b とすると、接着が剥離していない部分での曲げ剛さ (部材の曲げにくさを表す値) E_I は、 $E_I = E b (2 h)^3$

／12（ここで、Eは部材の縦弾性係数、Iは断面二次モーメントである。）と表され、接着の剥離している部分での曲げ剛さEIは、 $EI = E b h^3 / 12$ で表される。このとき、接着の剥離した部分での曲げ剛さEIは、接着の剥離した部分の曲げ剛さEIの1／8となる。このとき剛性Cも剥離した部分では、剥離していない部分に比べて小さくなる。剛性Cは、 $C = P / U$ と表される。ここで、Pは荷重、Uは歪みを表す。それゆえ、剛性Cが小さくなると剥離が生じている部分と剥離が生じていない部分と同一の荷重Pをかけても、歪みUは、剥離が生じている部分の方が、剥離が生じていない部分よりも大きな歪みを発生する。よって、ファイバセンサのセンサ部は、剥離が生じている場合、剥離が生じていない場合に比べて大きく歪み、図7で示したよりさらに長波長側に反射スペクトルのピークが生じるようになる。

【0076】

以上の原理に基づいて、上記の測定系において負荷を部材に加えたときの反射スペクトルのピークを観測することにより、接着部の剥離を確実に検出することができる。

【0077】

次に、第3実施形態の実施例について説明する。

【0078】

【実施例2】

本実施例では、250℃熱硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離する前の、反射スペクトルである図8のとおりで第1の実施形態で説明したとおりであり、横軸は、波長であり、縦軸は、光強度である。このときには、1554nm付近にピークが見られる。図10のように拡大レンズで観察しながら負荷を加えていく。そして、剥離が生じるまで、スペクトルはほとんど変化せず、剥離が生じたとき、負荷をゼロにする。そのときのスペクトルは図9に示したとおりである。スペクトルは剥離が生じると大きく変化し、1555nmにもピークが生じる。これは、圧縮ひずみがなくなった部分がセンサに生じたことに起因するものと考えられる。さらに、約10kg重の負荷を加えたとき、図15に示すような反射スペクトルとなり、さらに、ピークは長波長側にシフトしピークP3とし

て現れる。

【0079】

以上の測定により、剥離が生じたときには、より長波長側にピークが生じるようになるので、そのピークを観測することにより剥離を検出することができる。

【0080】

【実施例3】

本実施例においては、図16は、室温硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離する前の、反射スペクトルである。横軸は、波長であり、縦軸は、光強度である。このときには、1554nm付近にピークが見られる。図10のように拡大レンズで観察しながら負荷を加えていく。そして、剥離が生じるまで、スペクトルはほとんど変化せず、剥離が生じたとき、負荷をゼロにする。そのときのスペクトルを図17に示す。スペクトルは剥離が生じてあまり変化しない。これは、接着剤を室温で硬化するために高温で硬化する接着剤に比べて圧縮ひずみが少ないことに起因するものと考えられる。図18で示すように負荷をさらに加えたときの反射スペクトルを示す。このとき、長波長側にピークP4が生じる。

【0081】

以上の測定により、剥離が生じ、負荷を加えたときには、長波長側にもピークが生じるようになるので、そのピークを観測することにより剥離を検出することができる。この応用として、航空機胴体部の接着部の状態をモニターする場合、胴体部製造時での反射特性と、実運航後に地上で胴体部内に与圧を付与した状態での反射特性を測定・比較すれば、剥離しているか否かを正確に判断できる。

【0082】

なお、上記の測定系において、光検出器として光スペクトルアナライザを用いて反射スペクトルを測定するようにしたが、ある特定の波長に感度を有するフォトダイオードなどで、その波長の光強度を検出するようにし、例えば、剥離したときに負荷を加えることによって生じるピークの波長に感度を有するフォトダイオードを用いてその検出値をモニタすることにより、その強度が増加することによって剥離を検知するようにしても良い。

【0083】

次に、本発明の第4の実施形態を説明する。第4の実施形態は測定系30の構成を用いて、部材16、17に負荷を加えたときの透過光特性を観測する。この実施形態においては、部材側から所定の負荷を付与したときの光学特性の変化から接着部の剥離を検査する。そして、所定の負荷として、接着剤によって接合された複数の部材からなる接合部材を弾性変形させる外力を加える。図14(a)で示すように部材16、17に引っ張りの負荷として外力Fをかけたり、また、図14(b)で示すような部材16'、17'が接合された接合部材では、接合部材の端部A、Bに引っ張りの負荷として外力F2を加える。さらに、図14(c)で示すような部材16'', 17''が接合された接合部材では、接合部材の3点D1、D2、D3に外力F3、F4、F5を加え曲げの負荷をかける。測定系の構成は、図11で示した第2の実施形態と同様であるので説明を省略する。

【0084】

次に、本発明の剥離検出方法の測定の原理を説明する。

【0085】

ファイバグレーティングはファイバコア部に光の波長オーダーの周期を書き込んだもので、コアを伝搬する前進と後退モード間の結合を用いることで、所定の波長の光を反射させる機能をもつ。結合する波長 λ_B は、伝搬モードの実効屈折率 n_{eff} と屈折率周期 Λ を用いて(1)式で示される。

【0086】

反射率Rは屈折率変化量 Δn 、グレーティング長L、伝搬光のコア部への閉じ込め率 η_c を用いて、(2)式で求められる。

【0087】

このようなグレーティングに圧縮ひずみが加わると屈折率周期 Λ が図6で示すように Λ_c となり短くなり、反射光の波長は短くなる。一方、圧縮ひずみが少なくなると、屈折率周期 Λ は、ひずみのない場合に近い部分も生じ、その部分からの反射光の波長は、長くなり、図7に示すように、長波長側にも反射ピークが生じる。剥離が生じると、剥離した部分では、圧縮ひずみが少なくなるか、なくなる。さらに負荷を加える。このとき、接着部の剛性は接着が剥離して板厚が変化

することによって大きく低下する。図 14 (d) には、接合部材の接着が剥離した部分と、接着が剥離していない部分での曲げ剛さを示す。部材 16' ' と部材 17' ' の厚さを h 、幅を b とすると、接着が剥離していない部分での曲げ剛さ (部材の曲げにくさを表す値) $E I$ は、 $E I = E b (2 h)^3 / 12$ (ここで、 E は部材の弾性係数、 I は断面二次モーメントである。) と表され、接着の剥離している部分での曲げ剛さ $E I$ は、 $E I = E b h^3 / 12$ で表される。このとき、接着の剥離した部分での曲げ剛さ $E I$ は、接着の剥離した部分の曲げ剛さ $E I$ の $1/8$ となる。このとき剛性 C も剥離した部分では、剥離していない部分に比べて小さくなる。剛性 C は、 $C = P / U$ と表される。ここで、 P は荷重、 U は歪みを表す。それゆえ、剛性 C が小さくなると剥離が生じている部分と剥離が生じていない部分と同一の荷重 P をかけても、歪み U は、剥離が生じている部分の方が、剥離が生じていない部分よりも大きな歪みを発生する。よって、ファイバセンサのセンサ部は、剥離が生じている場合、剥離が生じていない場合に比べて大きく歪み、図 14 で示したと同様に、グレーティングに引っ張りひずみが入り、グレーティングの間隔が長くなり、その結果、長波長側にディップを持つ透過特性が生じる。また、室温硬化接着剤を用いたときも、負荷を部材に加えることにより、剥離が生じているときには、グレーティングのひずみを大きくし、長波長側にディップを持つ特性が得られ、それを観測することにより、接着部の剥離を検出することができる。

【0088】

以上の原理に基づいて、部材に負荷を加えたときの透過スペクトルの変化を観測することにより接着部の剥離を検出することができる。この応用として、航空機胴体部の接着部の状態をモニターする場合、胴体部製造時での透過特性と、実運航後に地上で胴体部内に与圧を付与した状態での透過特性を測定・比較すれば、剥離しているか否かを正確に判断できる。

【0089】

なお、上記の測定系において、光検出器として光スペクトルアナライザを用いて透過スペクトルを測定するようにしたが、ある特定の波長に感度を有するフォトダイオードなどで、その波長の光強度を検出するようにし、例えば、剥離した

ときに負荷を加えることによって生じるディップの波長に感度を有するフォトダイオードを用いてその検出値をモニタすることにより、その強度が減少することによって剥離を検知するようにしても良い。

【0 0 9 0】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように本発明によれば、次の効果を奏する。

【0 0 9 1】

複数の部材を接合する接着材の内部に光ファイバセンサを埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着剤の内部の剥離を検出する剥離検査方法であって、光ファイバセンサを接着材の内部に埋め込むときに、光ファイバセンサに圧縮ひずみを加えた状態で埋め込むため、接合部材の剥離が起こった場合、光ファイバセンサは圧縮ひずみがなくなる部分が生じ、それにより、センサ部が圧縮ひずみがあるときよりも長くなり、光学特性に大きな変化が生じる。その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。したがって、剥離か否かを正確に判定可能なことから、実際剥離していないにもかかわらず剥離と判定して無駄な構造物の分解作業などのケースは皆無となり、すなわち、構造物の整備コストを削減し、逆に剥離しているにもかかわらず剥離していないと判定してしまい構造物の崩壊などの最悪のケースを招くことはなく構造物の安全性の向上が期待できる。

【0 0 9 2】

光ファイバセンサを複数の部材を接合する接着剤の内部に埋め込み、光ファイバセンサに光源からの光を入射したときの光ファイバセンサからの光学特性に基づき接着部の剥離を検出する剥離検査方法であって、部材側から所定の負荷を付与したときの光学特性の変化から接着部の剥離を検査するため、部材側から付与する所定の負荷により、接合部材が剥離しているとき、センサ部のひずみが変化し、光学的特性も大きく変化する。その光学特性を観測することにより、接着部の剥離を精度良く検出することができる。したがって、剥離か否かを正確に判定可能なことから、実際剥離していないにもかかわらず剥離と判定して無駄な構造

物の分解作業などのケースは皆無となり、すなわち、構造物の整備コストを削減し、逆に剥離しているにもかかわらず剥離していないと判定してしまい構造物の崩壊などの最悪のケースを招くことはなく構造物の安全性の向上が期待できる。

【0093】

この応用として、航空機胴体部の接着部の状態をモニタする場合、胴体部製造時での光学的特性と、実運航後に地上で胴体部内に与圧を付与した状態での光学的特性を測定・比較すれば、剥離しているか否かを正確に判断できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態に係る接着材内部の剥離検査方法で用いる測定系の基本構成図である。

【図2】

接着剤にセンサ部を埋め込んである接着部の斜視図である。

【図3】

接着剤にセンサ部を埋め込んである接着部の拡大断面図である。

【図4】

ファイバグレーティングの模式図である。

【図5】

ファイバグレーティングからの反射特性を示すグラフである。

【図6】

圧縮ひずみが加わったときのグレーティングの模式図である。

【図7】

接着部に剥離が生じたときのファイバグレーティングからの反射特性を示すグラフである。

【図8】

250℃熱硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離する前の反射スペクトルである。

【図9】

250℃熱硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離した後の反射スペク

トルである。

【図 1 0】

部材に負荷を加えていくときに拡大レンズで観察する様子を示す図である。

【図 1 1】

本発明の第 2 の実施形態に係る接着部の剥離検査方法で用いる測定系の基本構成図である。

【図 1 2】

ファイバグレーティングからの透過特性を示すグラフである。

【図 1 3】

接着部に剥離が生じたときのファイバグレーティングからの透過特性を示すグラフである。

【図 1 4】

部材に負荷をかけたときの様子を示す模式図であり、（a）は引っ張りの負荷、（b）は引っ張りの負荷、（c）は曲げの負荷を加えたときの様子を示し、（d）は接合部材の接着が剥離した部分と、接着が剥離していない部分での曲げ剛さを示す図である。

【図 1 5】

剥離が生じているときに負荷を加えたときの反射スペクトルである。

【図 1 6】

室温硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離する前の反射スペクトルである。

【図 1 7】

室温硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離が生じているときで無負荷のときの反射スペクトルである。

【図 1 8】

室温硬化接着剤でセンサ部を埋め込んだときの剥離が生じているときで負荷を加えているときの反射スペクトルである。

【図 1 9】

光ファイバセンサから検出される反射スペクトルであり、（a）は接合部材の

剥離が生じていないときの反射スペクトルであり、（b）は接合部材の剥離が生じているときの反射スペクトルである。

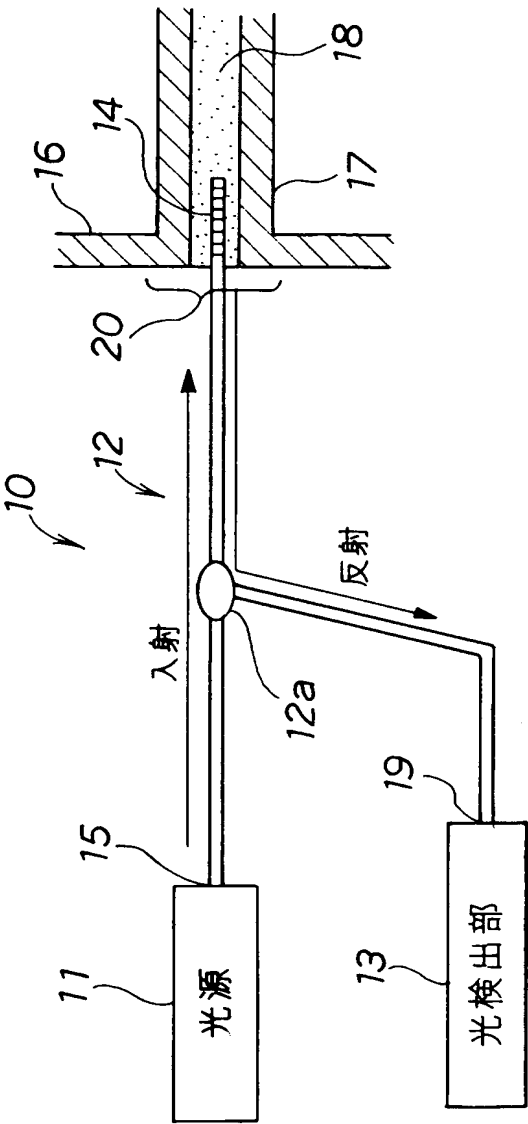
【符号の説明】

1 0	測定系
1 1	光源
1 2	光ファイバセンサ
1 3	光検出部
1 4	センサ部
1 5	先端
1 6, 1 7	部材
1 8	接着剤
1 9	先端
2 0	接着部
2 1	ファイバコア部
2 2	拡大レンズ

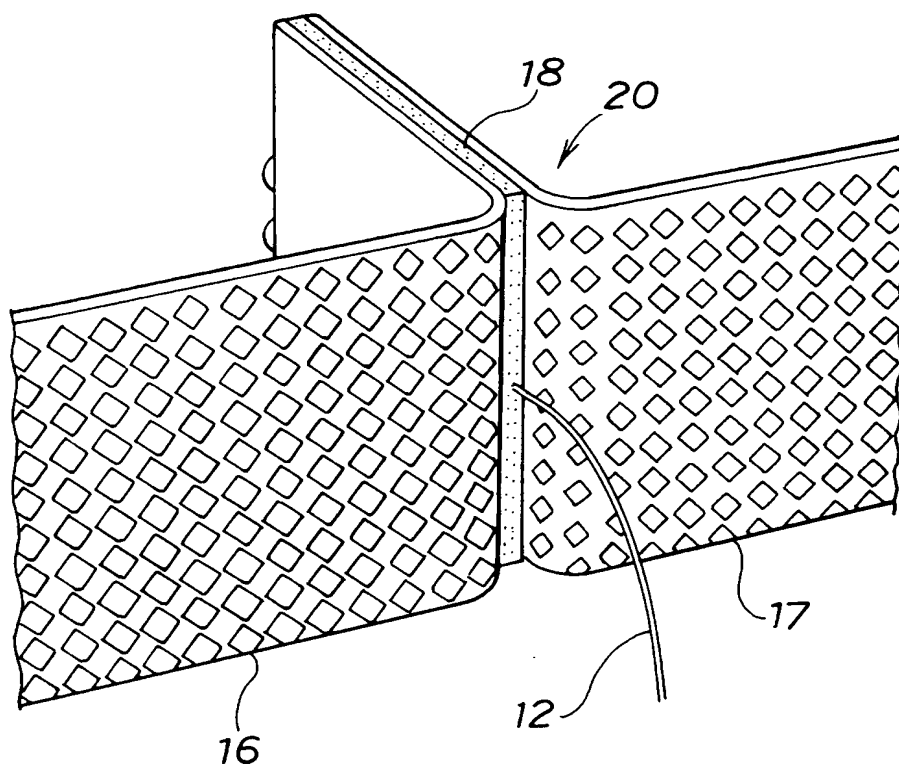
【書類名】

図面

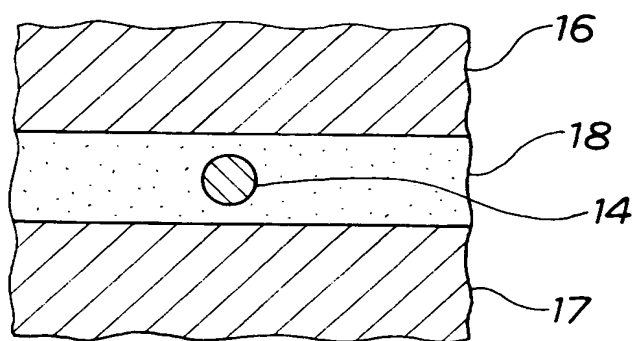
【図 1】



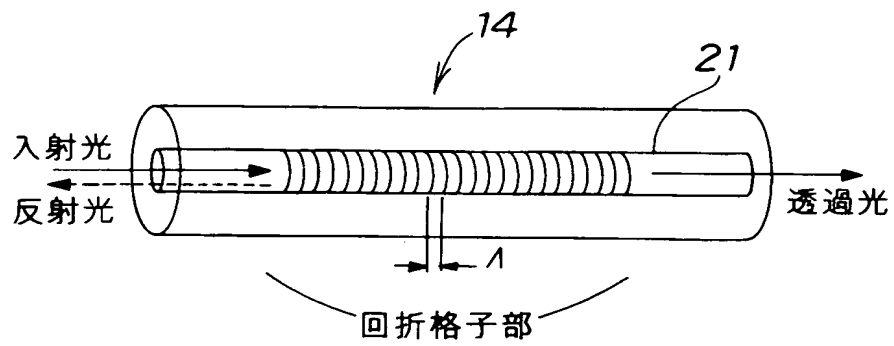
【図 2】



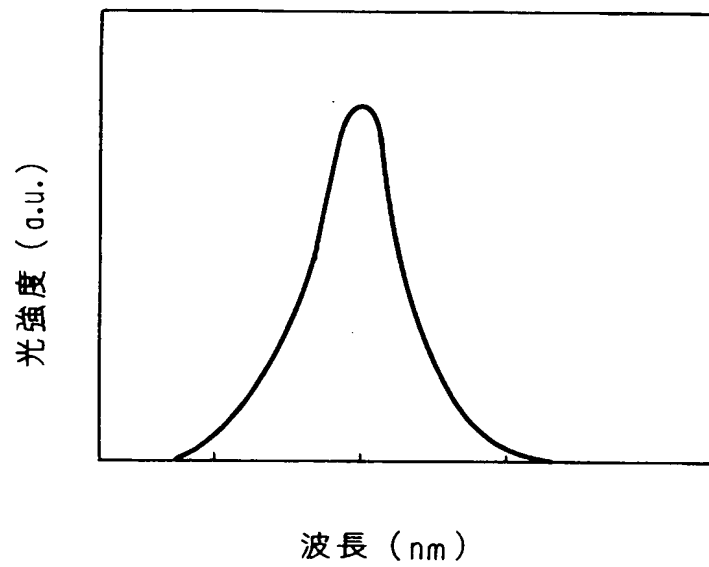
【図 3】



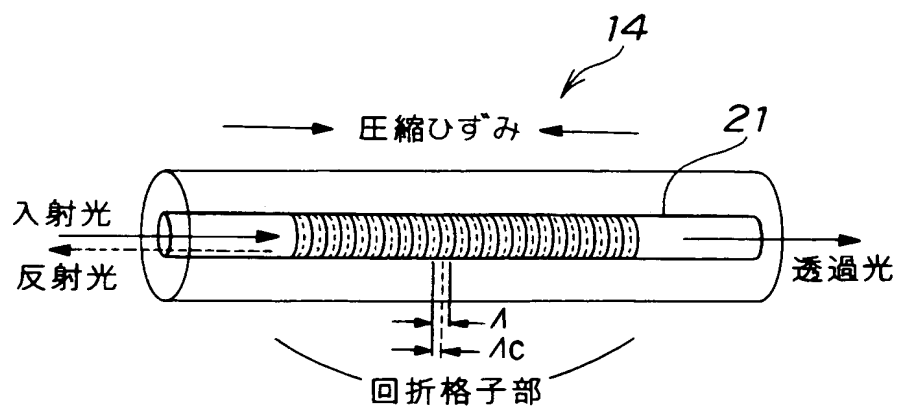
【図 4】



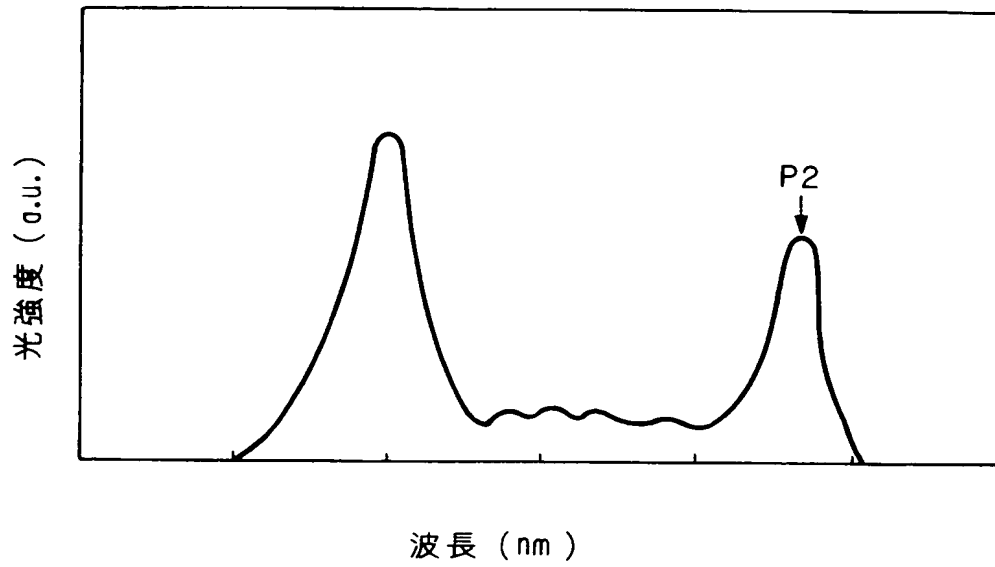
【図 5】



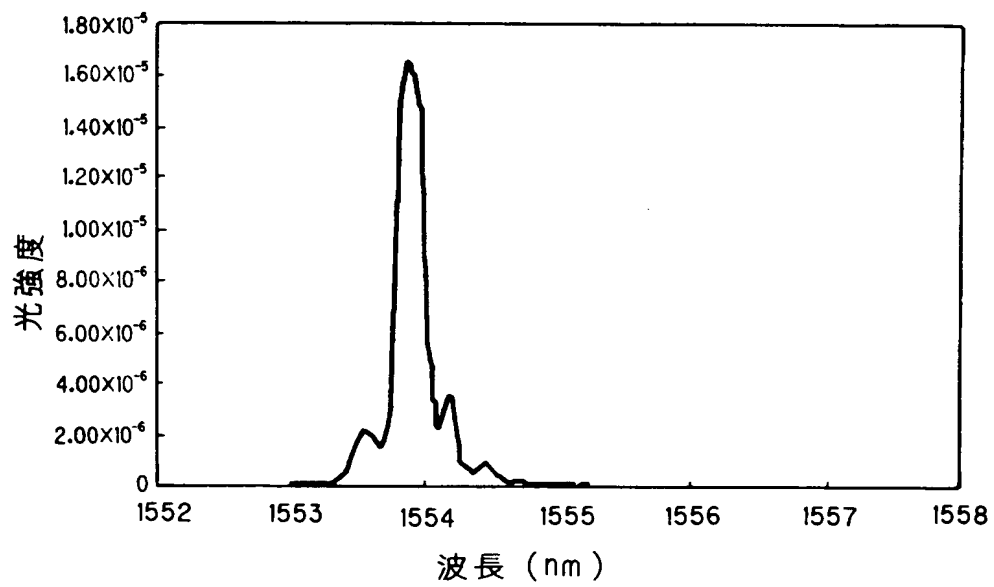
【図 6】



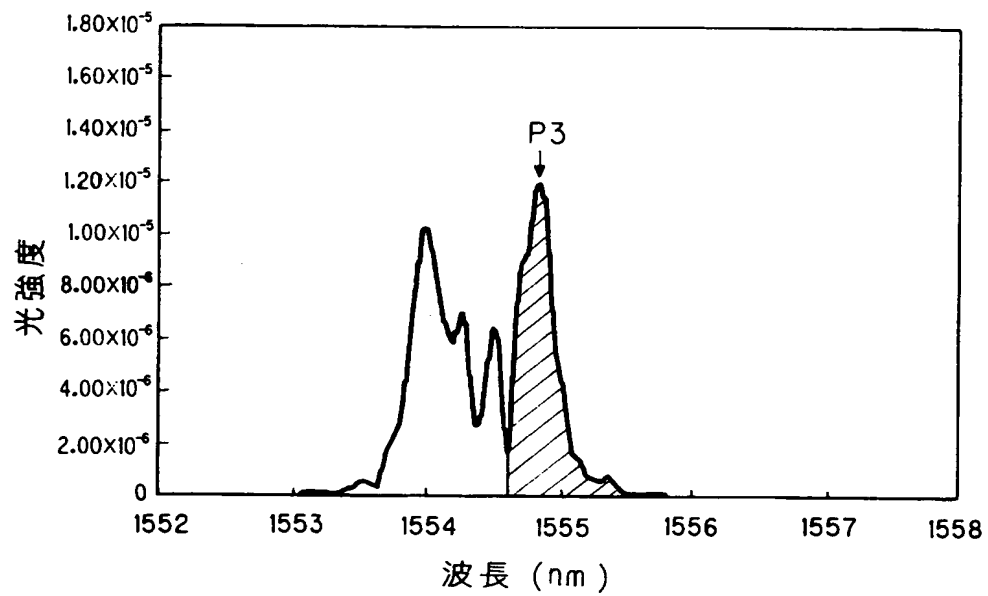
【図 7】



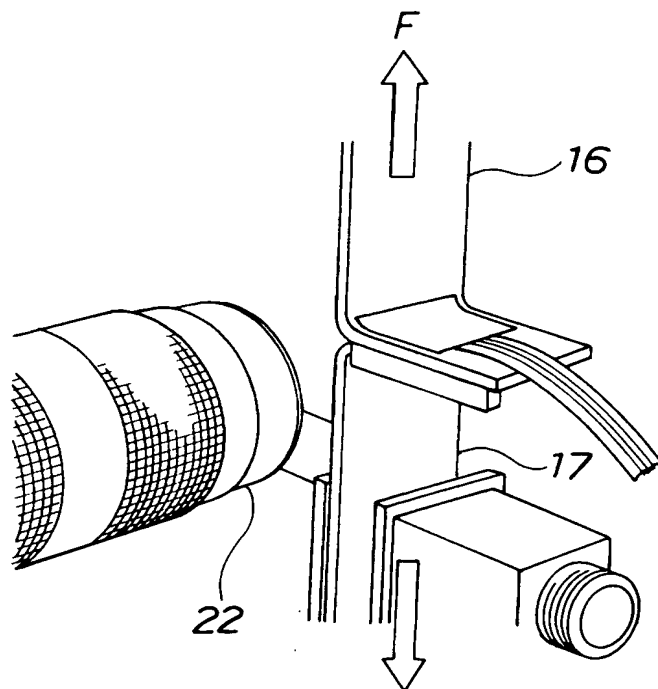
【図 8】



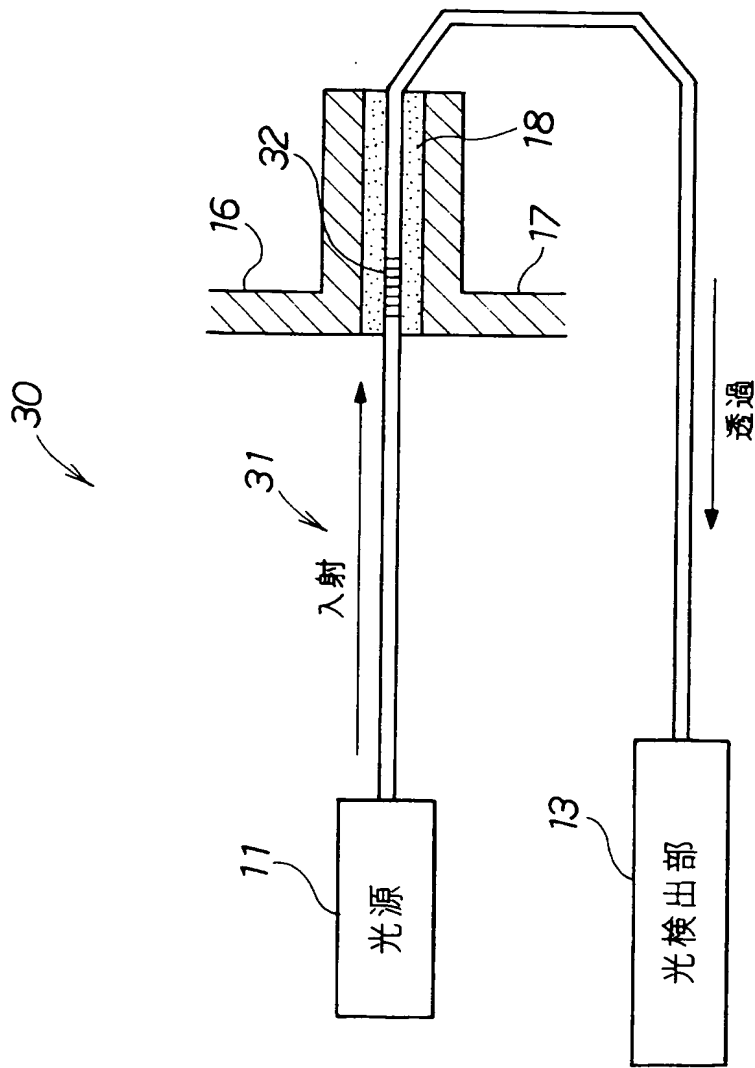
【図 9】



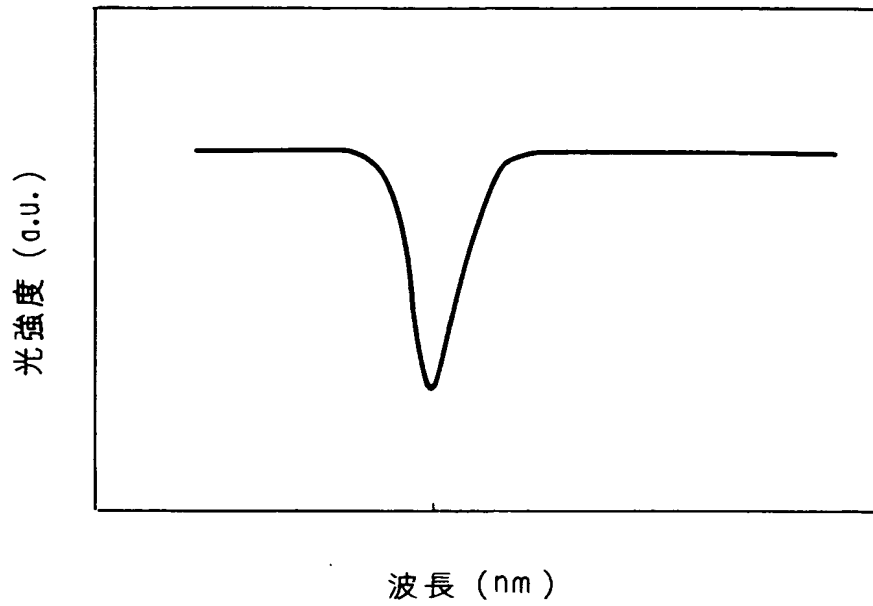
【図 10】



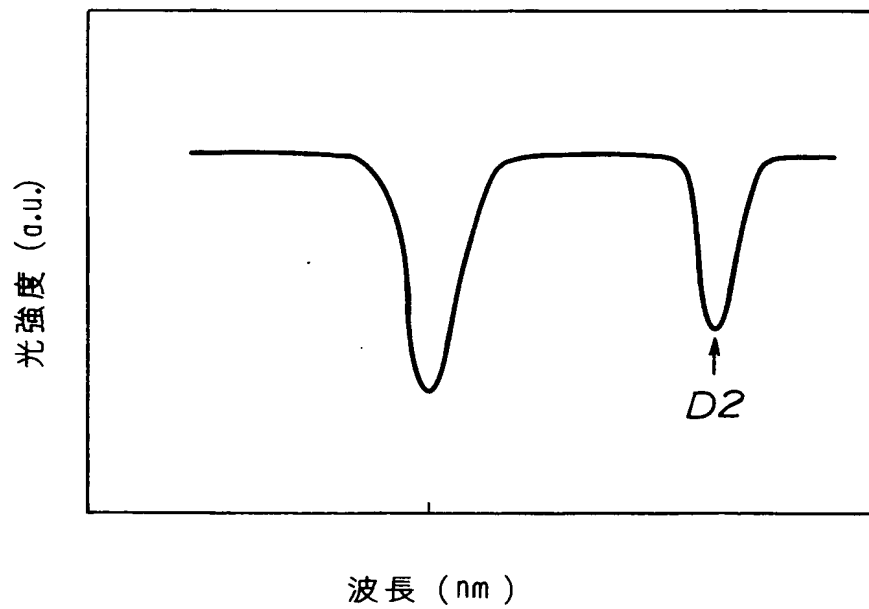
【図 1 1】



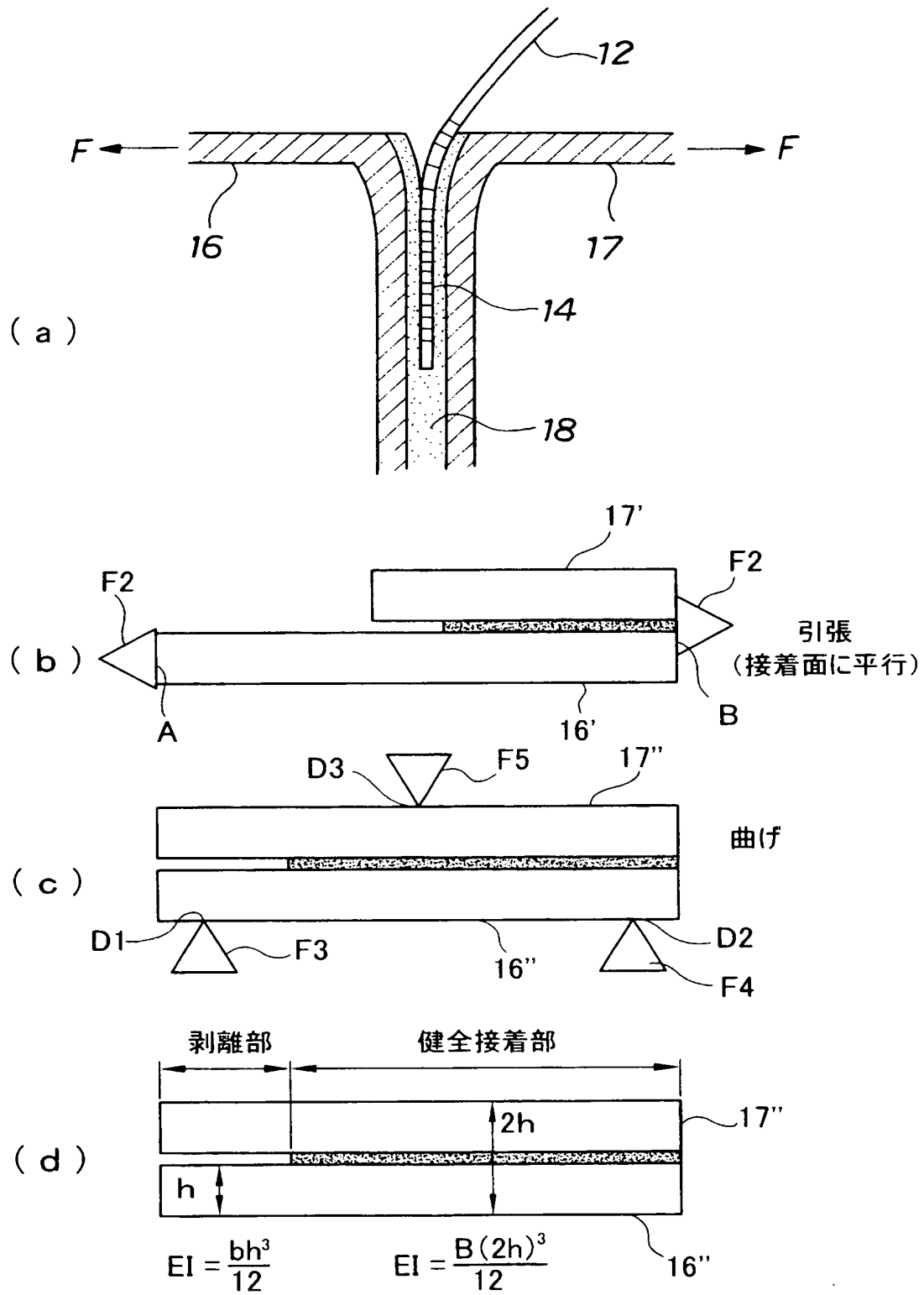
【図 12】



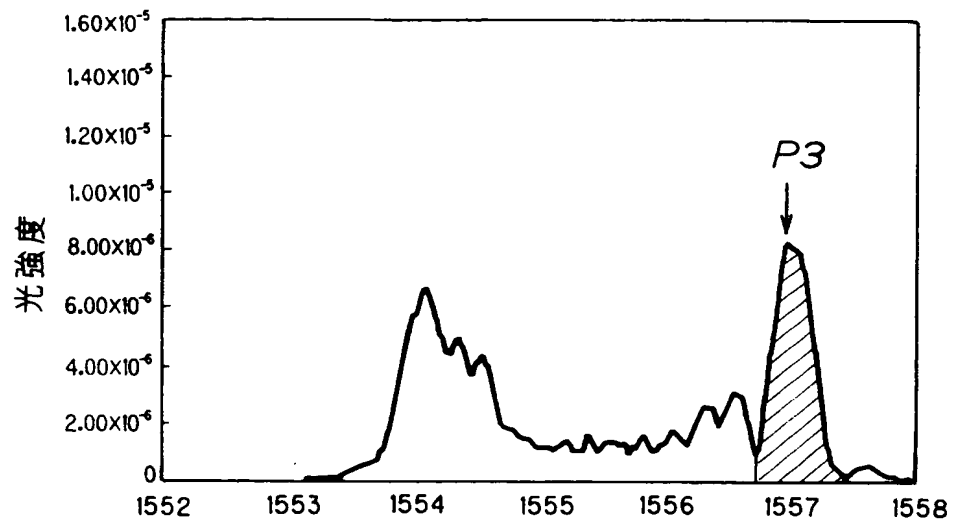
【図 13】



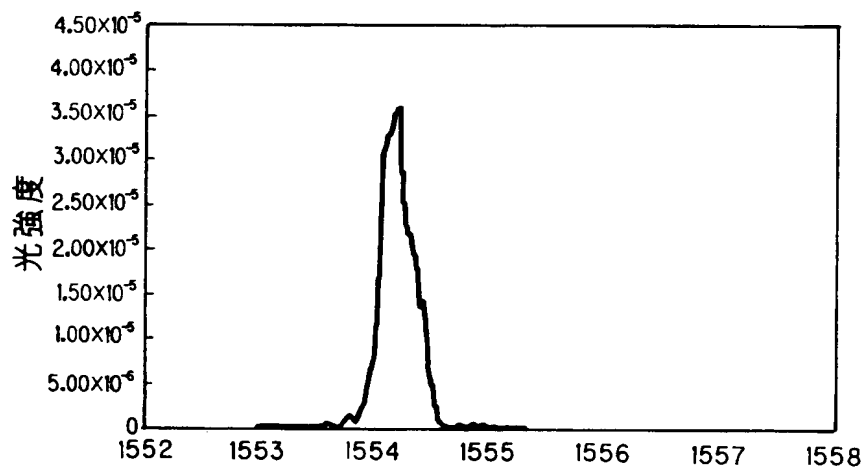
【図 14】



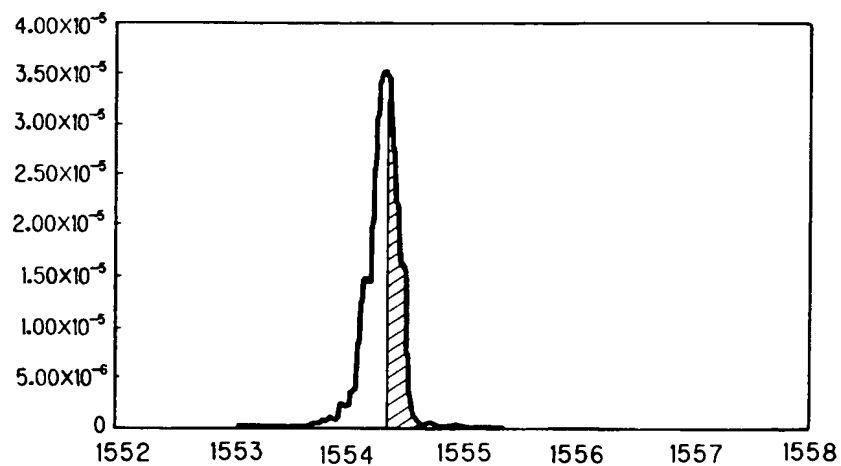
【図 15】



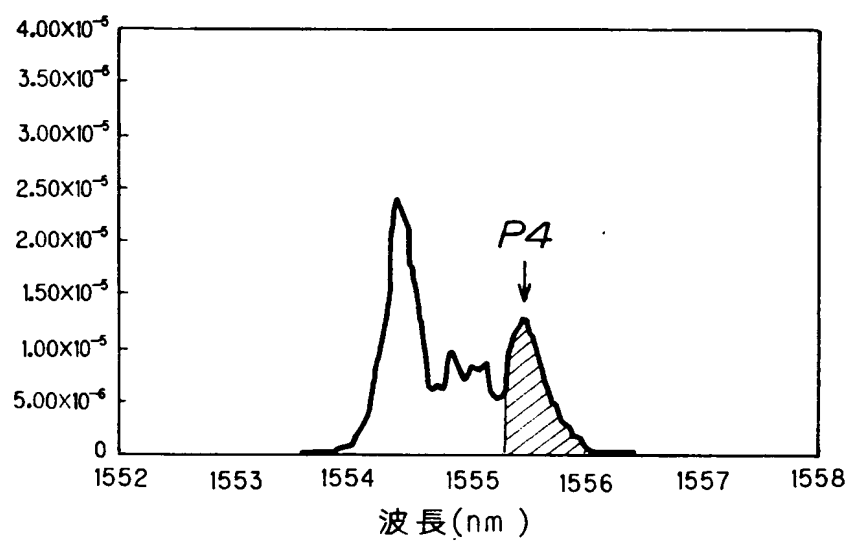
【図 16】



【図 17】

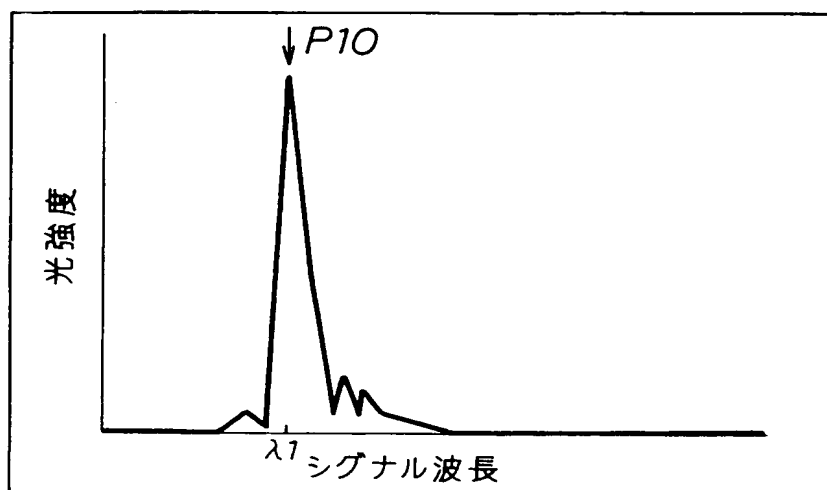


【図 18】

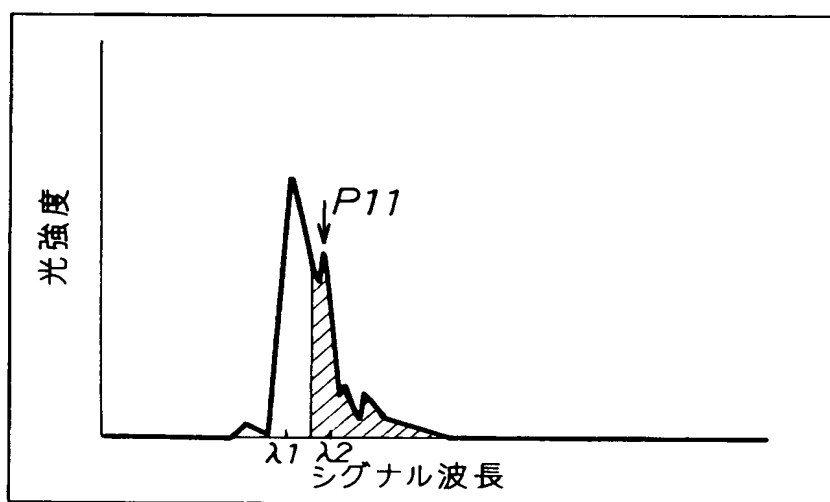


【図 19】

(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 接合部材が剥離したときに光ファイバセンサによって検出される光学的特性に大きな変化が見られるようにすることで検査精度を飛躍的に向上することができる接着部の剥離検査方法を提供する。

【解決手段】 複数の部材 1 6 , 1 7 を接合する接着剤 1 8 の内部に光ファイバセンサ 1 2 を埋め込み、光ファイバセンサ 1 2 に光源 1 1 からの光を入射したときの光ファイバセンサ 1 2 からの光学特性に基づき接着部 2 0 の剥離を検出する剥離検査方法であって、光ファイバセンサ 1 2 を接着剤 1 8 の内部に埋め込むときに、光ファイバセンサ 1 2 に圧縮ひずみを加えた状態で埋め込む。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 1 4 7 8 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 3 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号

氏 名

本田技研工業株式会社